



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DRESDEN

Ingenieurpsychologie  
und angewandte Kognitionsforschung



# Menschlicher Fehler

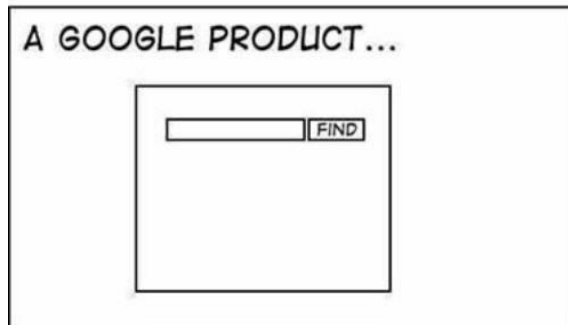
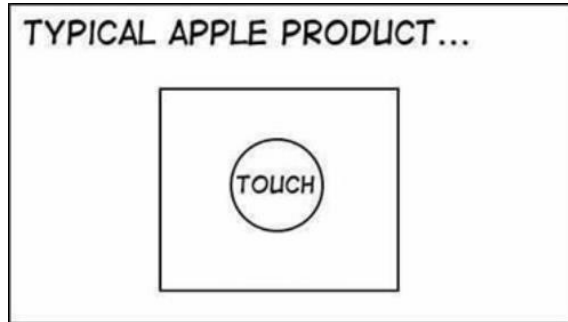
Über den Sinn und die Folgen einer Suche  
nach einfachen Ursachen in komplexen Systemen

Romy Müller

[romy.mueller@tu-dresden.de](mailto:romy.mueller@tu-dresden.de)



# Warum dieser Vortrag?



YOUR COMPANY'S APP...

FIRST NAME:	<input type="text"/>	TYPE CD:	<input type="text"/>	4 - K
LAST NAME:	<input type="text"/>	TQP STAT:	<input type="checkbox"/>	AA2-
SSN:	<input type="text"/>	VER:	<input type="text"/>	DK9B
ID:	<input type="text"/>	CAT CD:	<input type="text"/>	KKA?
PHONE 1:	<input type="text"/>	CITY:	<input type="text"/>	CN3
PHONE 2:	<input type="text"/>	STATE:	<input type="text"/>	AA-9
ADDR 1:	<input type="text"/>	ZIP:	<input type="text"/>	NEW
ACCT #:	<input type="text"/>	ORD #:	<input type="text"/>	DEL

OKAY APPLY SAVE UNDO HELP DELETE EDIT  
SELECT BROWSE ERRORS

STUFFTHATHAPPENS.COM BY ERIC BURKE



# Plan für heute

## Fehler im Alltag

Wodurch entstehen Fehler?

Wie kann Gestaltung Fehler verhindern?

## Fehler in komplexen Arbeitssystemen

Sind die gleichen Gestaltungsmaßnahmen sinnvoll?

Wodurch entstehen Fehler?

## Umgang mit Fehlern in komplexen Systemen

Wie kann man mit Fehlern umgehen?

Systemverständnis fördern

# Fehler im Alltag

Von einem Fehler (*error*) spricht man, wenn das erwünschte Ziel nicht erreicht wird und dafür kein Zufall verantwortlich ist.



Ausführungsfehler  
(*slips*)



Speicherungsfehler  
(*lapses*)



Planungsfehler  
(*mistakes*)

Unbeabsichtigte Handlungen

Beabsichtigte Handlungen



# Wann und warum passieren Fehler?

Beim Ausführen mehrerer Aktivitäten zugleich

Bei Routinehandlungen ohne fokussierte Aufmerksamkeit



Unfälle 2009

	Tödliche Unfälle	Unfallverletzte
Hausbereich	7030	2,73 Mio.
Freizeit	6754	2,63 Mio.
Verkehr	4377	0,40 Mio.
Arbeit	506	1,03 Mio.
Schule	14	1,31 Mio.
Sonstige	497	keine Angabe



In den folgenden 18 Monaten: Reduktion der tödlichen Unfälle

...danach Rückgang zum vorherigen Level

# Wann und warum passieren Fehler?

Zwei Sequenzen enthalten gemeinsame erste Schritte

Interne Beschreibung ist nicht präzise genug

Automatische Handlungen sind getrieben durch das Vorhandensein sensorischer Reize

Ausführen einer Reaktion, die in einer ähnlichen Situation in einer anderen Umgebung korrekt wäre

Zerfallen von Aktivierung (Vergessen)

Die Handlung ist passend in einem Modus, in dem sie eine andere Bedeutung hat



# Maßnahmen zur Fehlervermeidung in Alltagssystemen

## Vereinfachungen und Verdeutlichungen

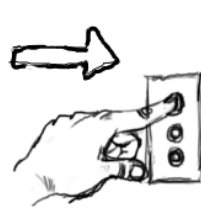
Minimieren von  
Wahrnehmungs-  
verwechslungen



Signifiers



Affordances



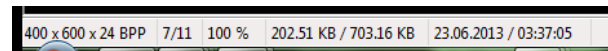
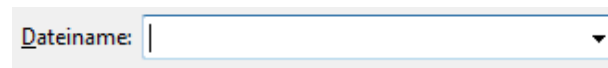
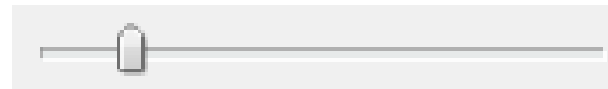
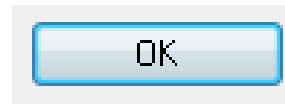
Button - Push



Switch - Flip



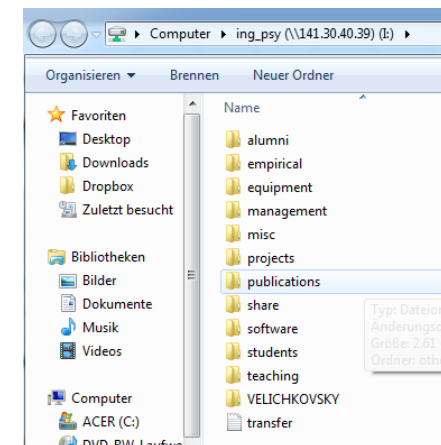
Knob - Rotate



Metaphern

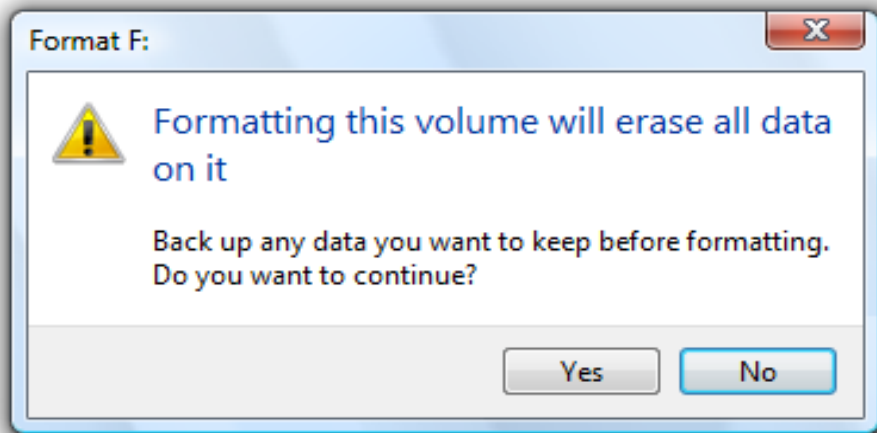


Entkopplung der Repräsentation  
für den Nutzer von der technischen  
Implementierung

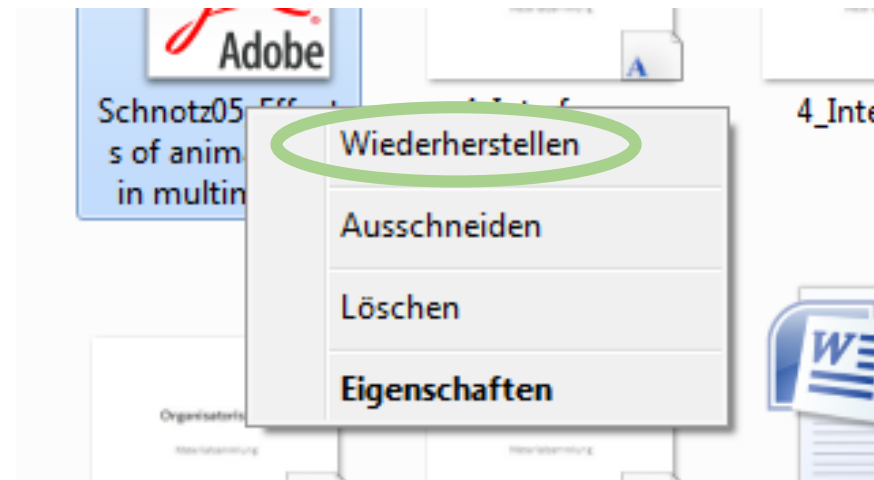
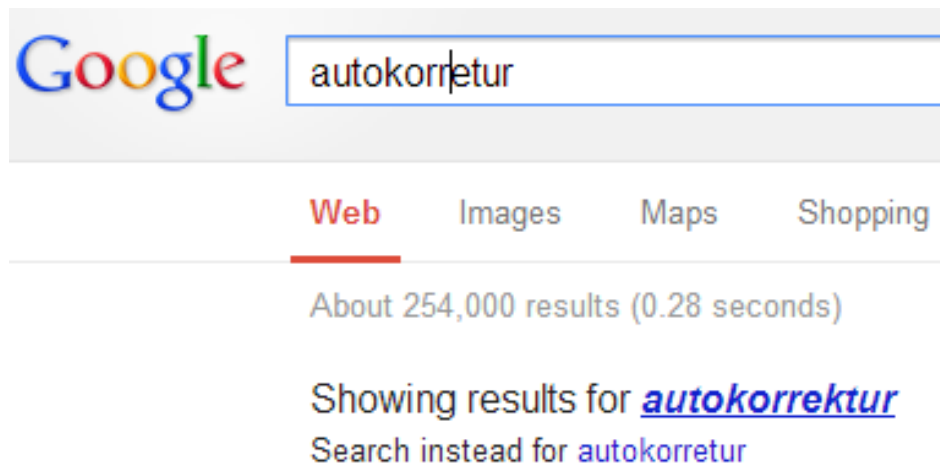




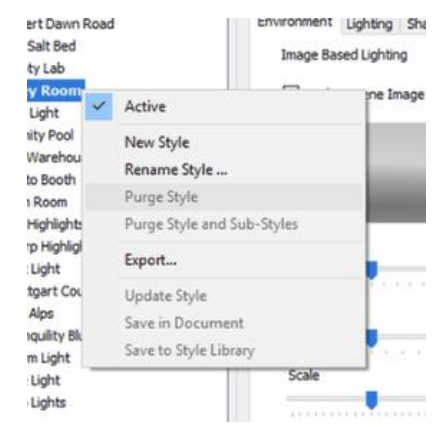
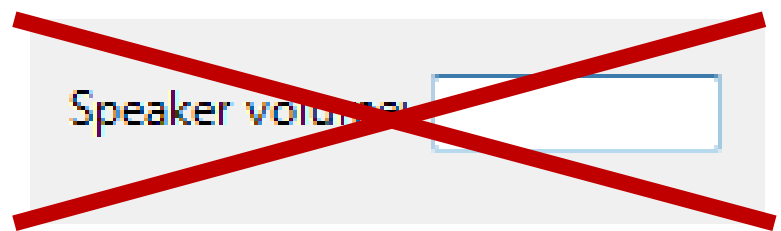
## Warnungen



## Fehlertoleranz



# Constraints



# Zusammenfassung Maßnahmen in Alltagssystemen

Vereinfachungen

Fokus auf Vermeidung von Fehlern

Warnungen

→ Handlungsmöglichkeiten des Nutzers einschränken

Fehlertoleranz

→ Sicherstellen, dass nur eine oder einige wenige RICHTIGE Handlungen ausgeführt werden

Constraints

## Was ist dazu nötig?

...dass Fehler bekannt sind

...dass es „gutes“ und „schlechtes“ Verhalten gibt

...dass Schaden verhindert werden kann,  
indem das schlechte Verhalten vermieden und  
anstatt dessen das gute Verhalten ausgeführt wird

Gilt das auch für  
komplexe Systeme?



# Fehler in komplexen Arbeitssystemen





## ...Risiken bei fehlervermeidendem Design

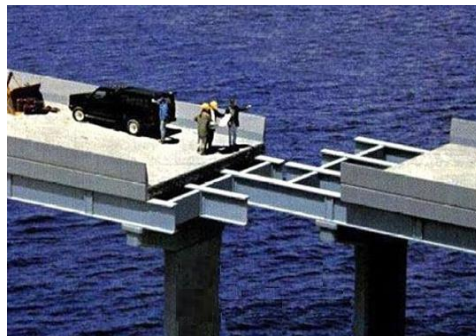
### Unfall Lufthansa Airbus A 321, Warschau, 1993

Wie gut können „unvollkommene“ Entwickler vorhersehen, wie sich ein automatisiertes System in bestimmten Situationen verhalten sollte?



Versuche der Fehlervermeidung können auch gute Handlungen verhindern

# „Fehler“ versus absichtliche Abweichungen in komplexen Systemen



Ausführungsfehler  
(*slips*)

Speicherungsfehler  
(*lapses*)

Planungsfehler  
(*mistakes*)

Anpassungen und  
Abweichungen  
(*violations*)

In komplexen Systemen ist „menschliches Fehlverhalten“ oft auf absichtlich abweichende Handlungen (violations) zurückzuführen

Damit geraten gängige Strategien zur Fehlervermeidung an ihre Grenzen

# Abweichungen können sinnvoll sein



*“...to set himself up for an unplanned water landing is unprecedented, nobody would have been thinking about that”*

(J.F. Joseph, ehemaliger Pilot)

Hätte ein technisches System dieses unvorhergesehene Verhalten verhindern sollen?

Menschliche Stärken:

Anpassung an veränderliche Kontexte, Urteilen, Priorisieren von Zielen, Auswählen geeigneter Strategien



Warum können Abweichungen vom vorhergesehenen Verhalten gut sein?

## Eigenschaften komplexer Systeme

Große Anzahl von Variablen

Vernetzung

Intransparenz

Dynamik

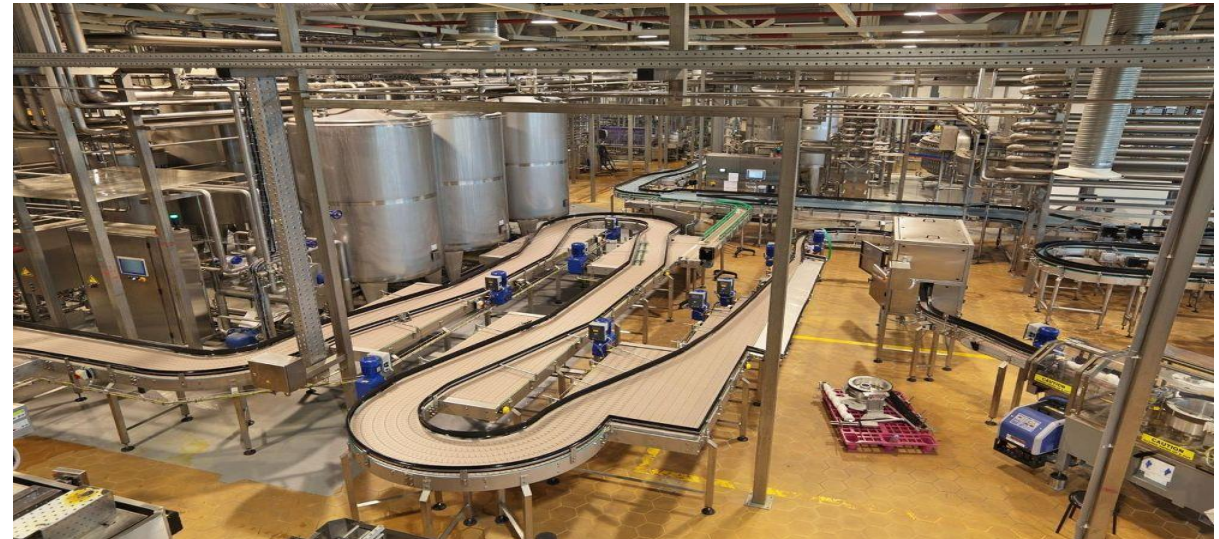
(verzögertes Feedback, nicht-lineare Veränderungen, Eigendynamik)

Mehrere, oft vage und widersprüchliche Ziele

Notwendigkeit zur Team-Koordination



Ist ein Sack  
Murmeln  
komplex?





# Konsequenzen für Fehlermodelle

Gängige Praxis: Lineare Modelle und spezifische Ursachen (Root Cause)



Er war nicht beim  
Sicherheitstraining



Operator hat den  
Feuerlöscher nicht gefunden



Nicht gelöscht als  
es noch klein war

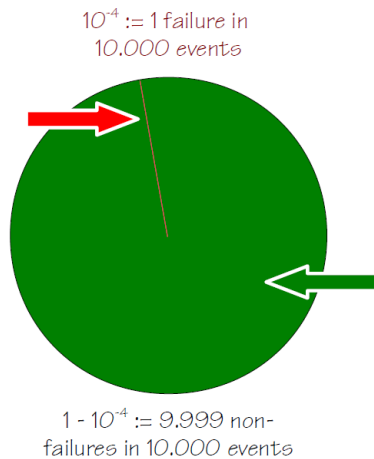


Folgeschweres Feuer  
in einer Fabrik

Zurückblicken in der Zeit bis man einen Menschen findet ;-)

Schlussfolgerung: 80 % aller Unfälle sind auf „menschliche Fehler“ zurückzuführen

# Problem: Das Verhalten vor Erfolgen und Misserfolgen ist oft identisch



Beispiel: Den eigenen Arbeitsplatz verlassen, um einem Kollegen zu helfen



Identisches Verhalten

Durch menschliche Anpassung an die Situation

Negatives Ergebnis

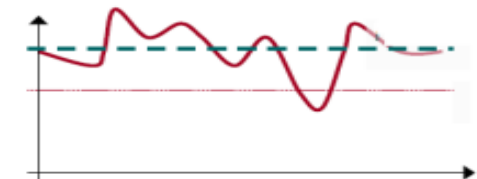
Positives Ergebnis

“Menschlicher Fehler“

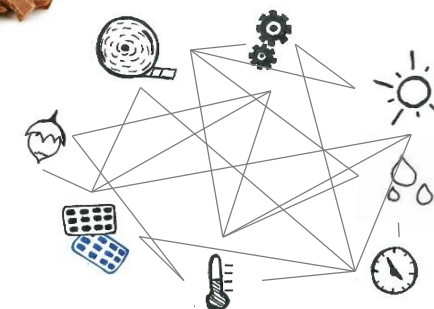
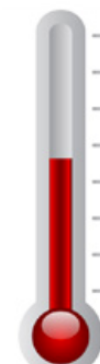
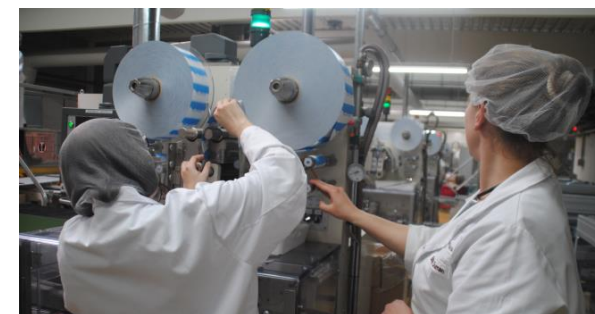
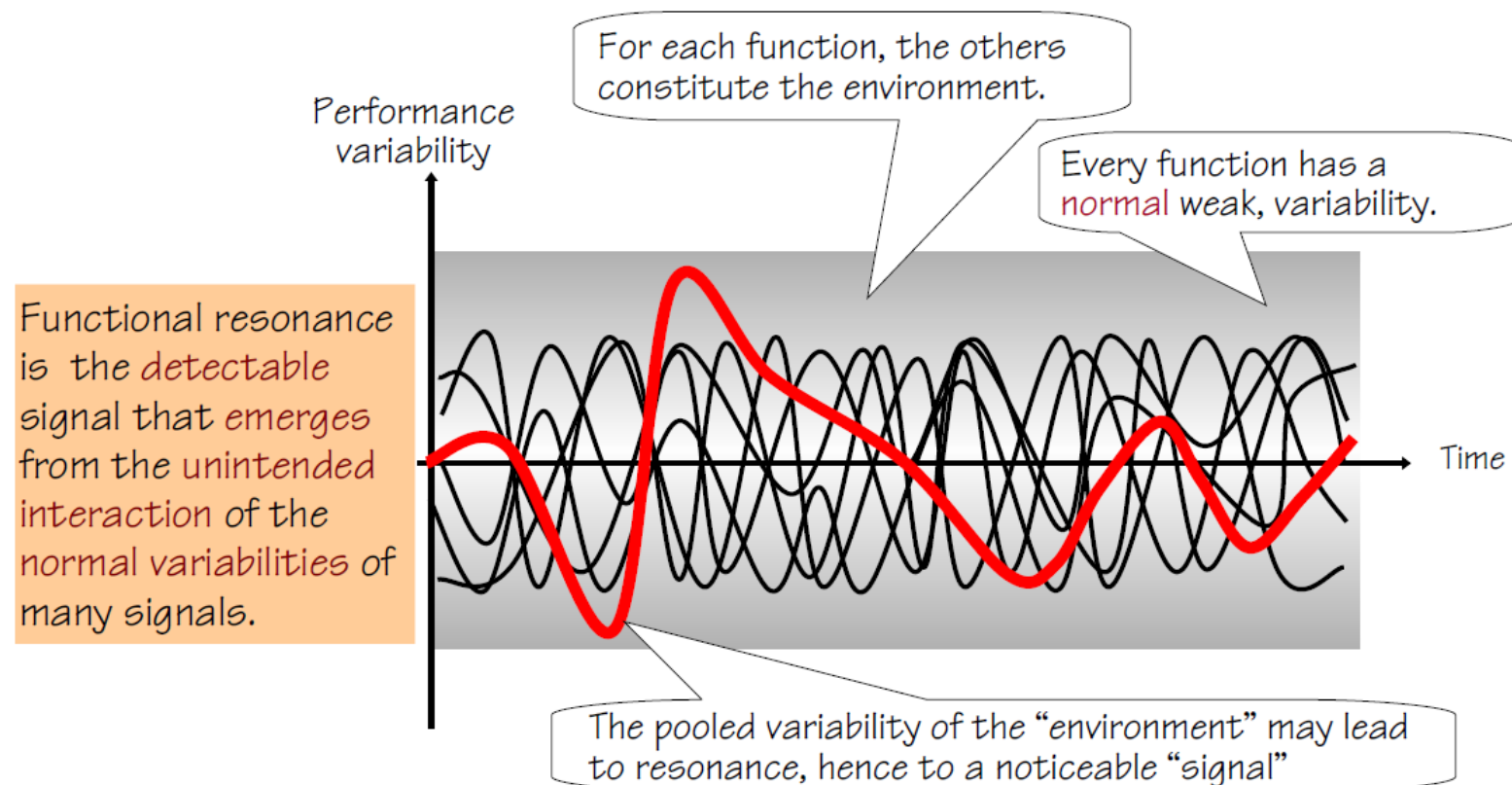
“Kreativität, Flexibilität“

*“Knowledge and error flow from the same mental sources, only success can tell one from the other.”*  
(Mach, 1905)

Dinge gehen ab und zu aus genau den gleichen Gründen schief aus denen sie fast immer gut gehen



# Funktionale Resonanz



Durch situationsspezifische Kombinationen von Einflussfaktoren kommt es zu unvorhersehbaren Wechselwirkungen



# Umgang mit Fehlern in komplexen Systemen

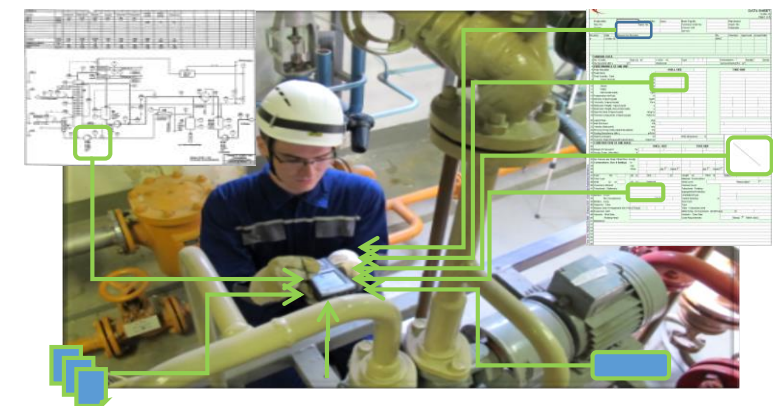
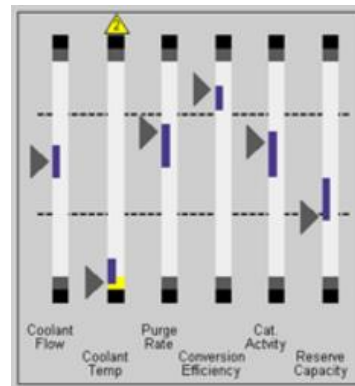
Automatisierung

Kommunikation und Kooperation

Interface-Gestaltung

Assistenzsysteme

Operator-Training





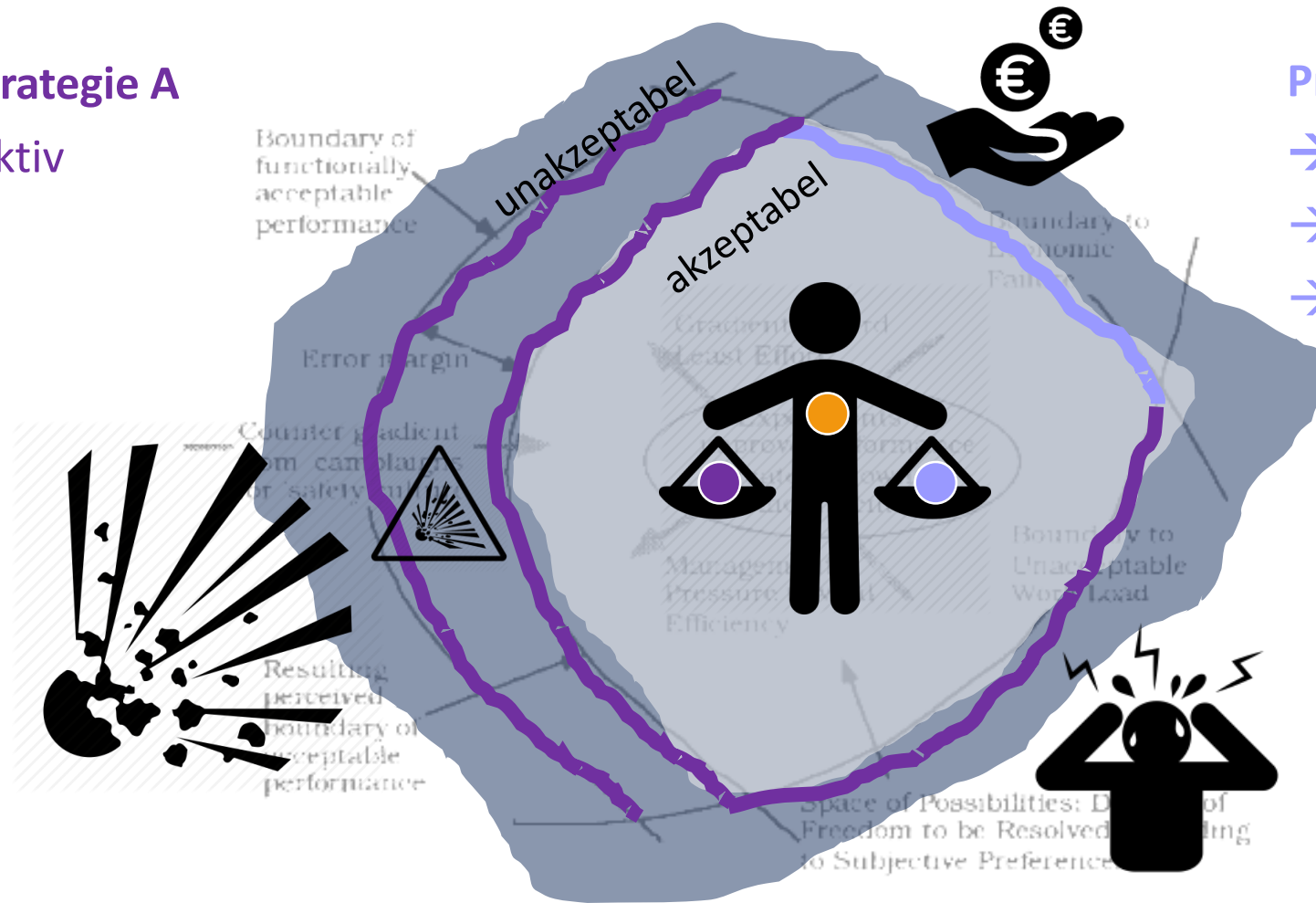
# Prinzip: Systemgrenzen und Handlungskonsequenzen verstehbar machen

## Produktionsstrategie A

- sehr produktiv
- schnell
- gefährlich

## Produktionsstrategie B

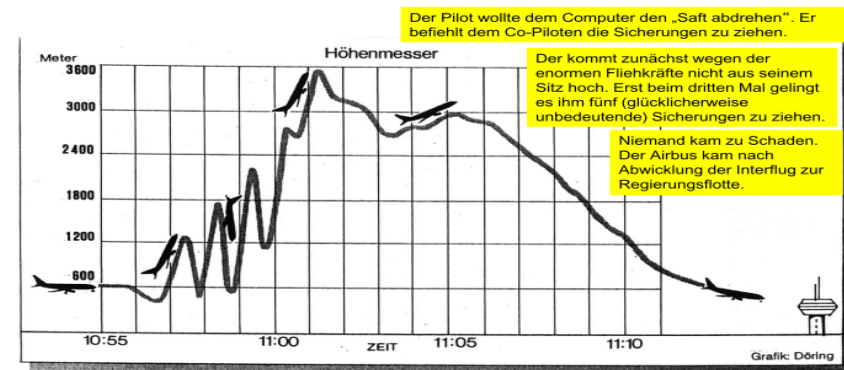
- weniger produktiv
- langsam
- sicher



Nur durch Bewegen im Raum der Möglichkeiten (Ausprobieren) können Operators lernen wo die Grenzen sind

# Was passiert, wenn Operators das Systemverhalten nicht verstehen?

Schwerwiegende Folgen  
unpassender mentaler Modelle



Aus dem Flugschreiber: Viermal stieg der deutsche Airbus wie eine Rakete in den Moskauer Himmel.

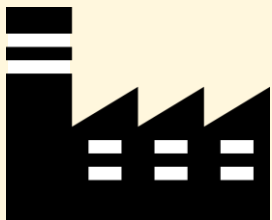
# Systemzustand so detailliert wie möglich darstellen?



Ack	Pri	State	ActiveTime	ObjectName	ObjectDescription	Condition	Message
	2	RTN	18 08:01:33:578	TI_2029_C29	COMP_C29_Temp_State	Temp-HH	Greater than 80.00
	3	RTN	18 08:01:20:578	TI_2029_C29	COMP_C29_Temp_State	Temp-H	Greater than 75.00
	2	RTN	18 08:00:52:078	TI_2077_A1	ReactorTemp_State	Temp-HH	Greater than 80.00
	1	RTN	18 08:00:50:578	PI_2029_C29	COMP_C29_Pres_State	Pressure-LLL	Less than 5.00
	2	RTN	18 08:00:48:077	PI_2029_C29	COMP_C29_Pres_State	Pressure-LL	Less than 10.00
	3	ACT	18 08:00:42:578	PI_2029_C29	COMP_C29_Pres_State	Pressure-L	Less than 20.00
	3	ACT	18 08:00:36:078	TI_2077_A1	ReactorTemp_State	Temp-H	Greater than 75.00
	1	RTN	18 07:59:27:577	PI_2077_A1	ReactorPressure_State	Pressure-LLL	Less than 5.00
	2	RTN	18 07:59:24:577	PI_2077_A1	ReactorPressure_State	Pressure-LL	Less than 10.00
	3	RTN	18 07:59:18:078	PI_2077_A1	ReactorPressure_State	Pressure-L	Less than 20.00
	1	RTN	18 07:58:53:078	TI_2029_C29	COMP_C29_Temp_State	Temp-LLL	Less than 5.00
	2	RTN	18 07:58:48:578	TI_2029_C29	COMP_C29_Temp_State	Temp-LL	Less than 10.00
	3	RTN	18 07:58:40:077	TI_2029_C29	COMP_C29_Temp_State	Temp-L	Less than 20.00
	1	RTN	18 07:55:58:578	TI_2077_A1	ReactorTemp_State	Temp-LLL	Less than 5.00
	2	RTN	18 07:55:49:078	TI_2077_A1	ReactorTemp_State	Temp-LL	Less than 10.00
	3	RTN	18 07:55:32:078	TI_2077_A1	ReactorTemp_State	Temp-L	Less than 20.00
	1	ACT	15 09:51:43:578	Compressor-Drive		DischargeLow	Compressor-DriveTorgue-Low
	1	ACT	15 09:51:43:578	Reactor_ByPass		Red	Reactor_ByPassByPass_Blk
	1	ACT	15 09:51:43:578	Compressor-Hydraulic		Cavitating	Compressor-HydraulicOil-Press-Low
	1	ACT	15 09:51:43:578	IsolationSystem		Unstable	IsolationSystemHelium_Gas_ON

## Domäne

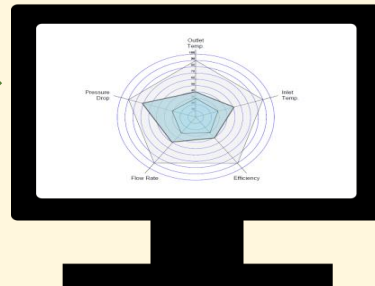
Probleme  
Systembedingungen  
Abstraktions-Hierarchie



Inhaltliches  
Mapping

## Interface

Displays  
Kontrollelemente



Format-  
Mapping

## Mensch



Eigenschaften des  
Systems

UND

menschliche Fähigkeiten  
berücksichtigen!

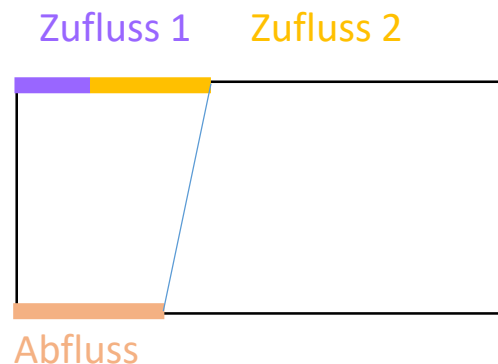
# Grafische Repräsentation der Domäne

Eigenschaften  
des Systems



Grafische Eigenschaften  
(emergent features)

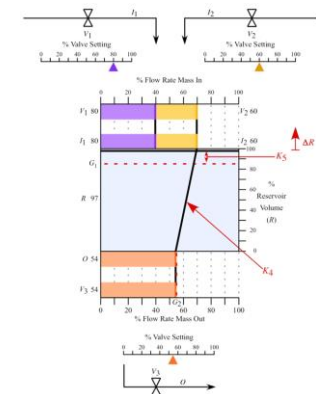
Beispiel Massenbalance: Sind die Zu- und Abflüsse gleich?



Emergent features

Symmetrie, Parallelität, Vertikalität

→ Veränderungen in den Daten  
führen zu Störungen dieser Eigenschaften

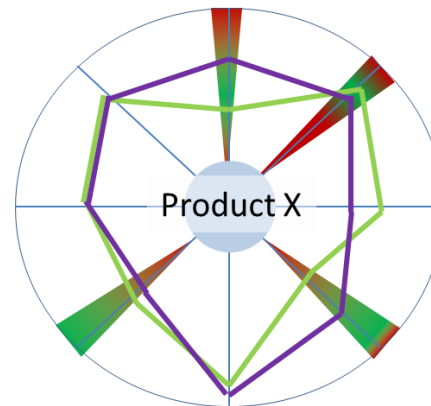
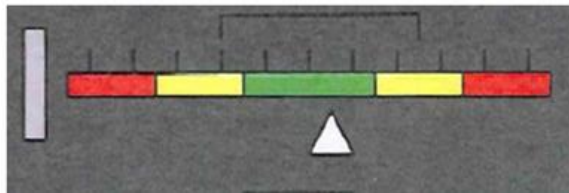




# Umsetzung in der Interface-Gestaltung

Systemzustand und Zusammenhänge verdeutlichen

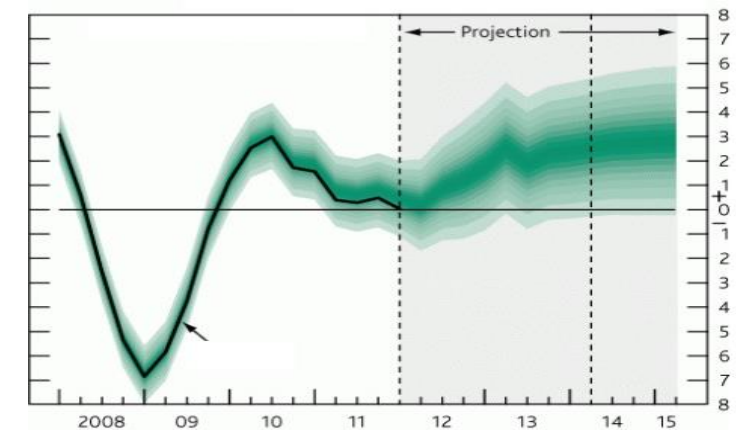
z.B. Ecological Interface Design



Information über den Kontext liefern

Verbessertes Verständnis der aktuellen Situation  
sowie Vorhersage von zukünftigen Systemzuständen

Unsicherheit explizit machen



# Zusammenfassung

In einfachen Alltagssystemen kann oft klar definiert werden, was richtiges und falsches Verhalten ist

Dies erlaubt eine einfache Analyse und Vermeidung von Fehlern

In komplexen Systemen kommt das Konzept “menschlicher Fehler” an seine Grenzen

Menschliche Anpassungen und unvorhergesehenes Verhalten können sinnvoll sein

Interface-Gestaltung sollte den Systemzustand verstehbar und die Konsequenzen von Anpassungen vorhersagbar machen

